Aus der Abteilung für Phoniatrie und Audiologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. H. Breuninger
der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
der Universität Tübingen

# HEMISPHÄRENDOMINANZ UND AKUSTISCHE WAHRNEHMUNG; EINE UNTERSUCHUNG AN 5- UND 7-JÄHRIGEN KINDERN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Bernhard Hildebrandt
aus
Schwäbisch Hall

1981

Aus der Abteilung für Phoniatrie und Audiologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. H. Breuninger
der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
der Universität Tübingen

# HEMISPHÄRENDOMINANZ UND AKUSTISCHE WAHRNEHMUNG; EINE UNTERSUCHUNG AN 5- UND 7-JÄHRIGEN KINDERN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Bernhard Hildebrandt
aus
Schwäbisch Hall

1981

Dekan: Prof. Dr. G. Rassner
Berichterstatter: Prof. Dr. H. Breuninger

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Herrn Prof. Dr. H. Breuninger danke ich für die Überlassung des Themas, Herrn Sesterhen für die Erledigung der technischen Arbeiten, dem Rechenzentrum Tübingen für die Mithilfe bei der statistischen Auswertung, Frau Angelika Nixdorf für die Schreibarbeit, der Aischbach-, Silcher- und Wanne-Grundschule sowie dem Martins- und Rappstraßen-Kindergarten für die Bereitstellung der Probanden und schließlich meiner Ehefrau und meiner Mutter für die erforderliche vis a tergo.

Inhaltsverzeichnis

I Einleitung
A) Geschichtlicher Überblick über Lokalisationstheorien der geistigen Fähigkeiten
B) Hemisphärendominanz
1) Die Dominanz der linken Hemisphäre
2) Anatomische Hirnasymmetrien
3) Arbeitsweise der Hemisphären
a) Rechtfertigungsversuch der linken Hand
b) sensorische Rechts-Links-Unterschiede
c) Zusammenarbeit der Hemisphären
d) Sinn der funktionellen Hemisphären-Asymmetrie
c) Hemisphärendominanz bezüglich akustischer Wahrnehmung

II Untersuchung mit einem dichotischen Hörtest bei 5- und 7-jährigen Kindern
1) Untersuchungsziel
2) Versuchsbeschreibung
3) Ergebnisse
4) Statistische Auswertung der Ergebnisse
5) Beurteilung der Ergebnisse

III Zusammenfassung

IV Literaturverzeichnis

## I Einleitung

### A) Geschichtlicher Überblick über Lokalisationstheorien der geistigen Fähigkeiten

Im 6.Jahrhundert vor Chr. kam der Inder Siddhatto (der "Buddha") durch Meditation u.a. zu der Erkenntnis, daß durch "Ineinandergreifen von Sinnesorganen und Sinnesobjekt" das "Element des Bewußtseins aufflammt." "Wenn aber, Brüder, das Sehorgan ungebrochen ist, und äußere Gestalten in den Gesichtskreis treten, und es findet ein entsprechendes Ineinandergreifen statt, so kommt es also zur Bildung des entsprechenden Stückes Bewußtsein."

Dies treffe für alle 5 Sinne zu. Das Denkorgan arbeite mit diesen Bewußtseinsinhalten analog.

Er betrachtete Bewußtsein und Denken als Funktionen unseres Körpers (Grimm, ohne Jahr)

Die Bedeutung dieser summarischen, aber klaren Beschreibung eines Teilaspektes unserer Hirntätigkeit, fällt erst auf, wenn man sich die Vorstellungen des antiken Abendlandes vergegenwärtigt. Allerdings wurde bei uns schon früh der Versuch unternommen, die geistigen Fähigkeiten des Menschen bestimmten Strukturen des Körpers zuzuordnen.

Die in Griechenland, im Zeitalter des Hippokrates (460 - 377 v.Chr.) entstandene Idee, daß das Gehirn das materielle Substrat der seelischen Vorgänge sei, wurde durch den Philosophen Aristoteles (382 - 322 v.Chr.) nachhaltig zugunsten des Herzens beeinflußt, der in ihm das Hauptorgan des Körpers, den Sitz der Seele und den Ort aller Empfindungen sah. (Révész 1917)

Diese Ansicht dürfte auch den größten Anatom der Antike, Galen (129 - 199 n. Chr.) beeinflußt haben, dessen kurz zusammengefaßte Ansicht etwa folgende war:

Die Lebensgeister werden in der linken Herzkammer produziert und von dort in alle Bereiche des Körpers verteilt. Beim Eintritt in die Schädelhöhle durch die inneren Carotiden gelangt das Blut in ein reich verzweigtes Netzwerk kleiner Gefäße, das Rete mirabile. Im Rete mirabile werden sie in animalische Geister (Lebenskraft) umgewandelt, und in den Hirnkammern gespeichert. Von dort gelangen sie in die,als hohl gedachten Nerven, wo sie Bewegungen und Empfindungen vermitteln. (Clarke et al. 1973)

Das Rete mirabile hatte Galen bei anatomischen Untersuchungen an Schweinen und Rindern gefunden; beim Menschen existiert es nicht.

Den Hirnwindungen maß er, vielleicht wegen ihres darmähnlichen Aussehens, ebensowenig Bedeutung bei, wie dem augenfälligen Unterschied zwischen Mark und Rinde. Er wies sogar die Ansicht des Erasistratus (ca. 260 v. Chr.), daß die Intelligenz in der Tierreihe der Kompliziertheit der Hirnwindungen entspreche, nachdrücklich zurück.

Die Autoritätsgläubigkeit während des ganzen Mittelalters war so tief verwurzelt, daß sein Irrtum betreffs des Rete mirabile erst mehr als 1300 Jahre später offenkundig wurde, und die Bedeutung der Hirnwindungen sogar erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts.

Dagegen waren seine Untersuchungen über den Verlauf der Nerven bahnbrechend. (Vor ihm hatten ähnliche Untersuchungen Erasistratus ca. 260 v. Chr. und Herophilus ca. 300 v. Chr. durchgeführt. Von ihnen sind uns die frühesten Zeichnungen des Skelett-, Muskel-, Nerven-, und Gelenksystems überliefert.)

Galen konnte die erste funktionelle Einteilung der Nerven in 2 Bereiche treffen: Die motorischen, die ins Kleinhirn zogen und die ins Großhirn ziehenden sensorischen (Clarke et al. 1973)

Die Präzisierung der Hirnkammerfunktion erfolgte durch die Begründer der Zellendoktrin: Nemesius (+ 390 n. Chr.) und der Hl. Augustinus (354 - 430 n. Chr.) stellten die Behauptung auf, daß die Seelenkräfte im Ventrikelsystem enthalten und folgendermaßen verteilt seien:

Die beiden Seitenventrikel wurden als ein einziger Hohlraum aufgefaßt, der die 1.Zelle bildete. Sie empfing die Sinneseindrücke und enthielt den sensus communis.

Im hinteren Teil der 1.Zelle bzw. in der 2.Zelle (3.Ventrikel) entstanden aus den Sinneseindrücken durch die imaginative (Vorstellungskraft) und die fantasia (Einbildungskraft) Bilder. Dort war auch der Sitz der Vernunft (ratio), des Urteilsvermögens (aestimativa) und des Denkens (cogitativa).

Die 3.Zelle (4.Ventrikel) enthielt die memorativa (Gedächtnis). (Clarke et al. 1973)

Diese Vorstellung fand, teilweise leicht abgeändert, während des ganzen Mittelalters Bestätigung durch die bekanntesten Anatomen und Ärzte, z.B. durch Avicenna (930 - 1037), in der Philosophia pauperum des Albertus Magnus (1206 - 1280), durch den flämischen Chirurgen Jehan Yperman (1295 - 1351), den Wundarzt John von Arderne in Newark (1349 - 1400), durch Prof. Martin Guldeln in Wien (1435 - 1440), im 1501 veröffentlichten Anthropolicum des Prof. Magnus Hundt aus Magdeburg und durch Francisco Suarez de Rivera (1548 - 1617). (Clarke et al. 1973)

Erst die Blüte der Wissenschaften in der Renaissance brachte schließlich die Wende, die zur heutigen Erkenntnis führte.

Erste Zweifel am Vorhandensein des Rete mirabile beim Menschen und an der Zellentheorie schrieb Vesalius 1543 in "de fabrica" nieder. Allerdings wurden diese Vorstellungen, nach heftigem Widerstand ihrer Anhänger, erst im 17. Jahrhundert aufgegeben. Vorerst (1650) verlegten

Franciscus de la Boe (Sylvius) und Thomas Willis lediglich die Funktionen der 3 Zellen in die Hirnrinde und andere Hirnteile. (Clarke et al. 1973)

Trotz der Entwicklung des Mikroskops in der 2.Hälfte des 17. Jahrhunderts, sistierte die Entwicklung des Wissensstandes auch noch im 18. Jahrhundert.

1790 begründete Franz Gall die Phrenologie. Er postulierte, daß das Gehirn das Organ der Seele sei und daß geistige und moralische Fähigkeiten seine Oberfläche prägten. Die Bedeutung der Hirnrinde war damit zwar gewürdigt, vorläufig aber noch falsch interpretiert: Die Phrenologen erstellten Karten, die der Gehirnoberfläche bestimmte Charakterzüge zuordneten, wie z.B. Fortpflanzungstrieb, Tapferkeit, Anlage zum Mord, Klugheit, Habsucht, Hochmut usw.

Obwohl sich die Phrenologen in ihren Festlegungen oft widersprachen, wurde dieser Wissenschaft lange Zeit allgemeine Anerkennung entgegengebracht. (Clarke et al. 1973)

Zu Anfang des 19. Jahrhunderts führten u.a. Friedrich Tiedemann , Robert Owen, Louis Pierre Gratiolet und Alexander Ecker an Gehirnen von Menschen und Säugetieren vergleichende Untersuchungen durch, die erst jetzt (seit Erasistratus) wieder zu der Erkenntnis führten, daß die Intelligenz in der Tierreihe der Kompliziertheit der Hirnwindungen entspricht.

Die Entwicklung der Fotografie unterstützte durch objektive Abbildungen das Entstehen eines gültigen Wissenstandes über Regelmäßigkeit und Anordnung der Hirnwindungen.

Die erste echte lokalisation einer Hirnfunktion gelang Pierre Broca (1863), der glaubte, das Sprachzentrum aufgrund des Sprachverlustes von Patienten mit Stirnhirnverletzungen lokalisieren zu können.

Fritsche und Hitzig (1870) lösten durch galvanische Reize an freigelegten Hundehirnen, Bewegungen der kontra-

lateralen Gliedmaßen aus. Die Zerstörung der bezeichneten Region ergab entsprechende motorische Funktionsausfälle.

In der Folge wurden in Europa und Amerika weitere ähnliche Versuche an Affen und Menschen durchgeführt.

Flechsig (1927) untersuchte die Markscheidenreifung, vor und nach der Geburt, und bestimmte konstante Rindenregionen, die mit diesen Bahnen in Verbindung standen. Er stellte fest, daß das Mark der primären und sekundären motorischen und sensorischen Projektionsfelder schon vor der Geburt reifte , und das Mark anderer Felder erst nach der Geburt. Er nahm an, daß die letzteren intellektuelle Fähigkeiten steuern (z.B. Lesen).

Auch Campbell (1905) brachte Funktion und Zellarchitektur in Zusammenhang. Seine Karten der Hirnoberfläche, die nach Cytoarchitektonik und Myeloarchitektonik eingeteilt sind, haben größtenteils noch heute Gültigkeit.

Im Anfang des 20.Jahrhunderts führten die vielen kriegsbedingten Schußverletzungen des Gehirns und neue Methoden der Neurochirurgie, einschließlich direkter Hirnreizung beim Menschen, zu weiterer Zunahme der Kenntnisse.

Bei Reizungen des Zwischenhirns mit Elektroden gelang es schließlich (Hassler 1967) selbst Stimmungen, Schmerz und Temperaturempfindungen hervorzurufen.

Eine vorübergehende aufflammende Fehde zwischen Vertretern einer Lokalisationstheorie, die jede Hirnfunktion eng an eine bestimmte Hirnregion gebunden glaubten und Vertretern einer holistischen Theorie, die das gesamte Gehirn für jede Funktion verantwortlich machten und ein Äquipotenzprinzip der Hirnteile postulierten, darf inzwischen wohl mit der Beschreibung Lurias (1966) als beigelegt betrachtet werden:

Der Arbeitsweise des Gehirn liegen verschiedene Funktionskreise zugrunde, die untereinander in Verbindung stehen. Die Funktionsglieder ihrer Hauptfunktion sind in bestimmten Hirnteilen lokalisiert. Hier führt elektrische Reizung zum direktesten Erfolg, eine Verletzung hat hier

eine besonders starke Schädigung der betreffenden Funktion zur Folge. Es dürfte aber keine Funktionsglieder geben, die nicht auch in andere Kreise eingeschlossen sind.

Zur Zeit versucht die Forschung mit Elektronenmikroskop, radioaktiv markierten Substanzen, fluoreszierenden Verbindungen, Untersuchungen über Enzymmuster, mit EEG, intrazellulärer Potentialableitung und -Reizung, sowie mathematisch-kybernetischen Hirnfunktionstheorien und -modellen tiefer in die komplexe Arbeitsweise unseres Gehirn einzudringen.

B) Hemisphärendominanz

1) Die Dominanz der linken Hemisphäre

Der augenfälligste Befund in der funktionellen Asymmetrie des menschlichen Körpers ist die verschiedene "Geschicklichkeit" der Hände.

In der Vergangenheit wurden von Plato die Stillgewohnheiten der Mütter, von anderen deren Herzschlag sowie die Kindslage im Uterus und beim Geburtsvorgang für die Händigkeit verantwortlich gemacht.

Daß es sich hierbei nicht um einen zufallsverteilten Lerneffekt handeln kann, zeigt sich schon in der ganz überwiegenden Bevorzugung der re. Hand auch bei Analphabeten und bei Völkern (z.B. Araber), deren Schriftrichtung eher die linke Hand begünstigen würde.

Bestätigende Untersuchungen stammen aus neuerer Zeit von Annet (1964), die die Erblichkeit der Händigkeit nachweist und sogar ein Modell des Vererbungsmodus erstellt, sowie die Angaben von Voelckel (1913) und Dreifuss (1963), die erste Anzeichen der Händigkeit schon beim Säugling fanden.

Daß Lerneffekte dennoch einen wesentlichen Einfluß auf die weitere Entwicklung der Händigkeit ausüben, besonders was einzelne Tätigkeiten bétrifft, soll dabei nicht vergessen werden. (Burt 1937)

Seit die Forschung im vorigen Jahrhundert Einblick in die Hirnfunktion erhalten hatte und die hauptsächlich kontralaterale motorische und somatosensorische Repräsentation des Körpers in den Hemisphären gesichert war, wurde eine große Zahl von Untersuchungen über die unterschiedliche motorische Fähigkeit der beiden Hemisphären durchgeführt.

Meist wird eine bessere feinmotorische Geschicklichkeit der rechten Hand bezüglich bestimmter Aufgaben für 80 - 90 % aller Menschen angeführt (z.B. Luchsinger und Arnold 1970, Groden 1960), ca. 6 % werden als Linkshänder eingestuft, der Rest als ambidextral. Bei diesen Zahlenangaben wurde die Schreibhand stärker gewichtet, als die Händigkeit bei anderen Verrichtungen.

Die Bevorzugung (bzw. größere Geschicklichkeit) der Schreibhand nimmt umsomehr ab, je weiter sich eine Tätigkeit von feinmotorisch-bearbeitenden Handlungen entfernt (z.B. Nähen, Kämmen, Ballwurf usw.) und ist für viele Turnübungen, Ankleiden, Maschinenschreiben usw. etwa seitengleich.

Was die Seitigkeit der Beine, Zungenhälften, Kehlkopf (insbes. die re. Stimmlippe) und das führende Auge betrifft, ist die Bevorzugung wesentlich lockerer an die re. Körperhälfte gebunden (z.B. führendes Auge: re. 53 %, li. 25 %, unstabil 22 %, Groden 1969)

Den bedeutendsten Leistungsunterschied zwischen den Hemisphären beschrieb erstmals Broca (1865). Er und weitere Forscher (z.B. Wernicke 1874, Déjérine 1891, Déjérine et al. 1912, Geschwind 1974 u.s.w.) fanden, daß die Sprache und

das Sprachverständnis noch enger an die li. Hemisphäre gekoppelt sind, als die Händigkeit.

Auf linksunilaterale Hirnläsionen folgte bei Rechtshändern häufig ein Sprachverlust, bei auftretender Hemiparese war er sogar fast die Regel; während selbst schwerste Schäden der rechten Hemisphäre fast nie diese Störung nach sich zogen. Auch bei Linkshändern sind bleibende Aphasien häufiger durch Läsionen der linken als der rechten Hemisphäre entstanden (Luria 1970).

Wada (1949) und Branch et al. (1964) bestätigten diese fast ausschließliche Repräsentation der Sprachfähigkeit in der linken Hemisphäre durch Injektionen von Sodium-Amytal in die Carotiden, zur vorübergehenden Lähmung einer Hemisphäre.

Bei den 89 % Rechtshändern gibt Levy (1970) die Bindung der Sprach- und Sprachverständnisfähigkeit an die linke Hemisphäre mit 99,67 % an, für die 11 % Linkshänder mit 56 %.

Diese Fähigkeiten führten, durch die Überbewertung der intellektuellen Leistung um die Jahrhundertwende, zu einer entsprechenden Überbewertung der linken Hemisphäre. Sie wurde ohne Einschränkungen als die "dominante" betrachtet, die rechte und die von ihr hauptsächlich innervierte linke Hand entsprechend geringgeschätzt. (worauf vielleicht auch die mit kräftigem Druck gegen entsprechenden Widerstand erfolgende Umerziehung der Linkshänder zurückzuführen ist).

Unter diesem Aspekt der funktionellen Dominanz wurden entsprechende anatomische Unterschiede zwischen den Hemisphären gesucht.

2) Anatomische Hirnasymmetrien

William Ogle (1871) stellte größere Schwere, größeres spezifisches Gewicht, größeren Reichtum an Windungen im Frontalhirn, eine frühere fötale Entwicklung der linken Hemisphäre und einen größeren Durchmesser der linken Arteria carotis fest.

Diese Ergebnisse fanden viele Gegendarstellungen. Z.B. bestreitet Ecker (1883) eine frühere fötale Entwicklung der linken Hemisphäre und die Gewichtsunterschiede, die selten über 5 g betrugen, führt von Bonin (1962) auf die Schnittführung zurück.

Die wenigen, von mehreren Forschern übereinstimmend beschriebenen anatomischen Unterschiede betreffen z.B. die Pyramidenbahnkreuzung. Daß die Fasern aus der linken Hemisphäre zuerst kreuzen fanden Yakovlev and Rakic (1966) bei 83 % der von ihnen untersuchten Feten, Kertesz and Geschwind (1971) bei 73 % der Erwachsenen (rechts 17 %, gleichzeitig 10 %).

Diese Asymmetrie hat jedoch keine erkennbare physiologische Bedeutung; auch eine deutliche Beziehung zur Händigkeit besteht nicht.

Ein wesentlicherer Unterschied betrifft das Planum Temporale und damit die am Rande und in der Tiefe der Fissura Sylvii gelegenen Hirnteile:

Nach vorn wird es von der Heschl'schen Querwindung begrenzt, die das primäre Hörfeld darstellt. Nach hinten entspricht seine Ausdehnung der Fossa Sylvii und lateral endet es in der Fissura Sylvii (Sulcus lat. cerebri)

Das Planum Temporale selbst ist eine primäre Hörassoziationsregion (TB) (v. Economo u. Horn 1930)

Die untere Begrenzung bildet die obere Temporalwindung, die ein sekundäres Hörassoziationsareal darstellt (TA). Ihr hinteres Drittel ist das sensorische Wernicke'sche Sprachzentrum.

Die vordere, obere Begrenzung, die Pars Opercularis

der unteren Stirnwindung wurde von Broca (1865) als motorisches Sprachzentrum erkannt.

Schnitte längs der Fissura Sylvii (Geschwind and Levitsky 1968, Geschwind 1974, Pfeiffer 1936, v.Economo u. Horn 1930) sowie Kunststoffausgußmodelle (Teszner 1972) führten zum gleichen Ergebnis:

Durch eine steilere Ausrichtung der Heschl'schen Querwindung nach vorn und eine größere Ausdehnung der Fissura Sylvii nach hinten, entsteht links ein Planum Temporale, das in 65 % der untersuchten Hirne um durchschnittlich 1/3 größer ist als rechts. (rechts größer in 11 % und gleich in 25 %)

Diese Asymmetrie besteht wahrscheinlich schon bei Feten (Cunningham 1892) und die Abdrücke der Fissura Sylvii in der Schädelkalotte des Neandertalers aus La Chapelle aux Saints, der vor 30 000 Jahren lebte, bietet ebenfalls solche Hinweise. Wahrscheinlich kann angenommen werden, daß es sich hierbei um eine spezifisch menschliche Entwicklung handelt. (Cunningham 1892, v. Economo u. Horn 1930, Pfeiffer 1936)

Außer dieser Asymmetrie der Sprachregion gibt es keine übereinstimmenden anatomischen Befunde, die wesentlich genug wären,die angenommene überragende Dominanz der linken Hemisphäre zu erklären.

3) Arbeitsweise der Hemisphären

a) Rechtfertigungsversuch der linken Hand

Die Funktionen der linken Hand, die ja die rechte Hemisphäre präsentieren, sind zwar weniger spektakulär als die der rechten Hand, aber dennoch augenfällig.

Z.B. gibt beim Schnitzen die das Objekt haltende li. Hand den räumlichen Bezug zu der schneidenden rechten. Wie wichtig diese ist, erkennt man, wenn man einen Holzklotz zur Bearbeitung in den Schraubstock spannt. Die rechte, bearbeitende Hand verliert plötzlich ihre Sicherheit,

bis durch das erneute Erfassen des Objekts mit der linken diese Sicherheit wiederkehrt.

Offensichtlicher wird diese Funktion beim Schmid. Während die rechte den Hammer schwingt und durch einen Dampfhammer ersetzt werden kann, obliegt es allein der linken, das Werkstück so zu halten, daß die gewünschte Form entsteht.

Bei der Herstellung einer Vase auf der Töpferscheibe legt sich die linke Hand von außen an den Ton, eine Negativform der gewünschten Rundung bildend, während die rechte den Ton nur noch in diese hineinzudrücken braucht.

Beim rechtshändigen Bildhauer hat die Rechte nur die Aufgabe, die Schlagstärke zu dosieren, die meißelführende Linke ist für die Formung des Kunstwerkes verantwortlich.

Rechtshänder boxen in der Linksauslage, d.h. linke Schulter und linkes Bein sind vorgenommen. Die linke Faust führt. "Die Hauptwaffe des Boxers ist der linke gerade Stoß..." (Böhm et al. 1959)

Die Aufzählung ließe sich fortsetzen. Trotzdem fand ich bezüglich der speziellen motorischen Fähigkeiten der linken Hand keine wissenschaftliche Literatur. Lediglich Simon (1964) beschreibt eine umfangreiche Untersuchung, die bezüglich "Beherrschung" und Kraftleistung die nicht führende Hand als gleichwertig erkennt.

b) Sensorische Asymmetrien

Dagegen gibt es Zeugnisse für die somatosensorischen Prävalenzen der rechten Hemisphäre.

Weinstein et al. (1961) stellen eine höhere Empfindlichkeit der Schwellenwerte für Druckempfindung auf Handfläche, Fußsohle und Unterarm der linken Körperhälfte bei Rechtshändern fest und umgekehrt bei Linkshändern.

Levy-Agresti et al. (1968) untersuchten kommisurotomierte Patienten. Meist wegen einer schweren therapieresistenten Epilepsie wurde bei ihnen der Balken (corpus callosum), der fast ausschließlich die beiden neocorticalen Hirnhemisphären verbindet, durchtrennt. Damit ist der Informationsaustausch zwischen rechter und linker Hemisphäre unterbrochen, und etwaige, vorher dadurch verdeckte, funktionelle Unterschiede der Hemisphären treten klarer hervor.

Die Patienten sollten Blöcke unterschiedlicher Gestalt mit verschiedenen Oberflächenmustern aus rauhen und glatten Stellen, Rillen und Löchern, nur durch den Tastsinn identifizieren und Karten mit entsprechenden Abbildungen zuordnen. Die Forscher stellten fest, daß die rechte Hand bei einfachen Formen und komplizierten Oberflächenmustern, die eine genaue Analyse erforderten, zwar etwas besser abschnitt, die linke dagegen ganz besonders bei schwierigen räumlichen Formen und einfachen Mustern überragende Ergebnisse brachte. Die korrekte Gesamtleistung betrug für die rechte Hand 28 %, für die linke Hand 52 %.

Gazzaniga (1970) bildet Zeichnungen eines Patienten ab, der vor der Kommisurotomie nie mit der linken Hand gezeichnet hatte. Danach war es ihm unmöglich, selbst einfache räumliche Gebilde mit der rechten Hand perspektivisch zu zeichnen, während dies mit der linken Hand noch gelang. Ebenso verhält es sich bei Konstruktionsaufgaben mit wesentlicher räumlicher Komponente (Gazzaniga et al. 1963)

Diese Prävalenz der rechten Hemisphäre für räumliche und raumorientierende Aufgaben sollte sich auch bei Untersuchungen eines weiteren sensorischen Systems, dem Auge, finden.

Da im Chiasma opticum der Sehnerven jeweils die Anteile der nasalen Retinahälften auf die kontralaterale Seite kreuzen, ist das rechte Sehhalbfeld beider Augen mit der linken Hemisphäre, das linke Sehhalbfeld mit der rechten Hemisphäre verbunden.

Um sicher zu sein, daß die Information nur einer Hemisphäre zur Verfügung steht, wurden die folgenden Versuche meist mit tachistoskopischer Projektion durchgeführt, d.h. die Versuchsperson fixiert ein Kreuz, zu dem im Winkel von $6^{\circ}$ - $9^{\circ}$ seitlich das Testmaterial projiziert wird, und zwar so kurzzeitig (unter 150 Millisekunden), daß eine Einstellbewegung des Auges ausgeschlossen ist.

Die ersten Versuche ergaben die schon bekannte Dominanz der linken Hemisphäre für verbales Material. (Mishkin and Forgays 1957, Barton et al. 1965, Kimura 1961, Kimura 1966)

Weitere Versuche, in denen die Lokalisation von Punkten in Quadraten (Kimura and Durnford 1974) und die Raumlage eines Stabes zu einem anderen (Durnford and Kimura 1971) festzustellen waren, zeigten deutlich die diesbezügliche Dominanz der rechten Hemisphäre.

Benton et al. (1970) sowie Carmon et al. (1969) stellten fest, daß bei rechtsseitigen Hemisphärenläsionen die stereoskopische Wahrnehmung von Zufalls-Punkte-Mustern stärker leidet als bei linksseitigen Läsionen. Einen entsprechenden Versuch führten Durnford et al. (1971) mit gleichem Ergebnis durch. (Aus technischen Gründen wirkte hierbei allerdings nur die Querdisparation der zentralen Punkte als tiefeinduzierender Faktor.)

Auch die Winkel zur Waagrechten, eines tachistoskopisch projizierten Striches, die durch einen Zeiger widerzugeben waren, wurden von der rechten Hemisphäre besser einge-

schätzt. (Durnford and Kimura 1971)

Das Erkennen von Formen und Gesichtern sowie das Zusammensetzen und Vergleichen von Bildern ergab bei kommisurotomierten Patienten bessere Ergebnisse für die rechte als für die linke Hemisphäre. (Trevarthen 1974, Nebes 1971, Nebes 1972)

Auch Untersuchungen an Patienten, denen aufgrund frühkindlicher Hemiplegien oder wegen Tumoren eine Hirnhemisphäre entfernt wurde, liefern entsprechende Resultate.

Smith (1966) und Smith et al. (1967) kommen aufgrund objektiver Intelligenzteste, Jackson (1874) aus Beobachtungen zu dem Ergebnis, daß bei rechtsseitig Hemisphärektomierten vor allem räumlich-visuelle und konstruktive Fähigkeiten stark beeinträchtigt sind, während bei linksseitig hemisphärektomierten Patienten die Lese- und Sprachschwierigkeiten im Vordergrund standen.

Lange (1936) fand bei rechtsseitigen Hirnschäden so schwere Störungen visuell-konstruktiver Fähigkeiten und der räumlichen Orientierung, "als ob die rechte Hemisphäre die Basis unseres Weltbildes sei."

Die Quintessenz dieser Untersuchungen besteht wohl darin, daß der linken Hemisphäre im sensorischen Bereich vorallem eine synthetisch-analytische Informationsverarbeitung zugebilligt werden muß, und dabei fast ausschließlich alle Sprachfunktionen, einschließlich dem Verständnis des geschriebenen Wortes, wogegen die rechte Hemisphäre ganzheitlich (holistisch) arbeitet und ihre Prävalenzen demzufolge bei Bildern und räumlichen Aufgaben liegen, einschließlich der Raumorientierung.

Daß diese Darstellung weitgehend den bisherigen Ergebnissen der Lateralitätsforschung beim Gehör entspricht, wird im übernächsten Kapitel gezeigt.

c) Zusammenarbeit der Hemisphären

Die wissenschaftliche Literatur enthält viele Hinweise auf eine weitgehend getrennte Aufarbeitung der Informationen in den Hirnhemisphären.

Bei Untersuchungen von Cohen (1972) wurde auf die entsprechenden Sehhalbfelder eine zunehmende Buchstabenzahl geblitzt, wovon ein vorgegebener auszusuchen war. Die Antwortzeit der linken Hemisphäre nahm mit der Buchstabenzahl logarithmisch zu, was als Hinweis auf eine sequenzanalytische Verarbeitung gedeutet werden kann, während die Antwortzeit der rechten Hemisphäre auch bei zunehmender Buchstabenzahl konstant blieb. (Hinweis auf ganzheitliche, gleichzeitige Prüfung der Information)

Zwar wird durch die Balkenfasern, die homologe Gebiete der Hirnrinde verbinden, ein Großteil jeder, ursprünglich nur einer Hemisphäre gebotenen Information, auch der kontralateralen vermittelt; dennoch wird die Informationsaufbereitung selbst bei Überlastung der einen Hemisphäre, nicht durch die andere, arbeitslose übernommen, wie zwei Experimente von Dimond und Beaumont (1974) zeigen:

Zwei Pfeile, deren Richtung der Proband schätzen mußte, wurden tachistoskopisch projiziert. Die Antwortzeit ist 100 msec. länger, wenn beide Pfeile gleichzeitig derselben Hemisphäre geboten werden, als wenn sie auf beide Hemisphären verteilt werden. Der 2.Pfeil konnte durch die bearbeitende Hemisphäre also erst nach Abschluß der Auswertung des 1.Pfeils analysiert werden und nicht gleichzeitig parallel durch die andere Hemisphäre.

Nach der Feststellung, daß bei zunehmender Ermüdung die Fehlerzahl und Antwortzeit zunimmt, unternahmen Dimond et al. (1974) einen Versuch, in dem über ein Sehhalbfeld eine fortlaufende Aufgabenstellung erfolgte. Antwortzeit und Fehlerzahl wurden ständig registriert. - Dem anderen Sehhalbfeld und damit der anderen Hemisphäre wurden nur

ab und zu Informationen geboten, um an der Antwortzeit und Fehlerzahl eine eventuelle Ermüdung abzulesen.

Während die ständig beschäftigte Hemisphäre deutliche Ermüdungserscheinungen zeigte, war dies bei der nur gelegentlich beschäftigten auch nach langer Zeit nicht der Fall. - Eine Übernahme der Informationsverarbeitung hatte also nicht stattgefunden.

Dimond et al. (1974) gehen deshalb davon aus, daß unser Gehirn aus einem zweikanaligen System besteht, in dem jeder Kanal (Hemisphäre) nach den oben genannten Gesichtspunkten seine Informationen aufarbeitet und erst danach, auf einer höheren Ebene, ein Vergleich und eine gegenseitige Ergänzung stattfindet, was den offensichtlichen Vorteil jeder Auffassung hat, die mehrere Gesichtspunkte berücksichtigt.

Daß diese beiden Systeme auch unabhängig voneinander existieren können, zeigen die Menschen mit einer Durchtrennung des Balkens, der fast alle Fasern enthält, die die homologen Areale der Neuhirnrinde gegenseitig verbinden.

Die meist bei schweren Epilepsien vorgenommene Operation schafft "zwei völlig getrennte Individuen in einem Kopf." (Gazzaniga 1970)

Diese Trennung der "Bewußtseinssphären" läßt sich in der üblichen Symptomatik der kommisurotomierten Patienten erkennen:

Eine Eingangsinformation die auf eine Hemisphäre begrenzt ist, beschränkt die zugehörige motorische Reaktion auf die kontralaterale Körperhälfte: z.B. können nur auf ein Sehhalbfeld gegebene, schriftliche Aufforderungen nur von der gleichseitigen Körperhälfte ausgeführt werden. Da Wortverständnis und Sprachfähigkeit auf die linke Hemisphäre begrenzt sind, kann Bildmaterial vom linken Sehhalbfeld nicht benannt werden, ebensowenig wie Gegenstände, die nur mit der linken Hand abgetastet werden. Auch ist eine Hand nicht in der Lage, eine Berührungsstelle auf der gegenüberliegenden Körperhälfte anzuzeigen. (Gazzaniga 1970)

Die zu erwartenden Schwierigkeiten bei der Zusammenarbeit der Hemisphären ohne direkten Informationsaustausch, beschreibt Gazzaniga (1970). Ein Patient versuchte z.B. öfter mit einer Hand die Hose auszuziehen, während die andere Hand sie wieder hochzog. Einmal griff er mit der linken Hand seine Frau und schüttelte sie haftig; gleichzeitig versuchte er ihr mit der rechten zu helfen und die linke Hand unter Kontrolle zu bringen.

Eine weitere Störung der Hemisphärenintegration scheint bei der Schizophrenie vorzuliegen. (Venables 1969)

Rosenthal et al. (1972) fanden bei der Sektion verstorbener, an Schizophrenie Erkrankter, signifikant verdickte Balken.

Beaumont et al. (1974) untersuchten Schizophrene mit tachistoskopisch projizierten Ziffern-, Buchstaben- und Form-Paaren. Bei diesen Vergleichsaufgaben zeigten die Kranken im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen bessere Leistungen, wenn das zu vergleichende Informationspaar auf nur eine Hemisphäre projiziert wurde, und signifikant schlechtere Ergebnisse, wenn die Informationen auf beide Hemisphären verteilt wurden.

Diese Befunde unterstreichen die Notwendigkeit einer intakten Hemisphärenintegration für die höchsten geistigen Fähigkeiten des Menschen bei gleichzeitig ungestörter Funktion beider Hemisphären. Eisenson (1962) stellte fest, daß intellektuelle Sprache und eine anspruchsvolle Formulierung durch Hirnschädigungen unabhängig von der Seitigkeit beeinträchtigt werden.

d) Sinn der funktionellen Asymmetrie

Es scheint, daß für die Entstehung ganz spezieller Fähigkeiten einiger Arten, die Entwicklung einer funktionellen Asymmetrie des Gehirns erforderlich ist. (Hingewiesen wird auf einige Vogelarten, deren Fähigkeiten zum Gesang ebenfalls ungleich auf die Hirnhemisphären verteilt ist. (Nottebohm 1970))

Zwar sind bei allen Säugetieren einschließlich der Affen, angelernte Bevorzugungen von Gliedmaßen häufig, jedoch nie als Ausdruck einer weitervererbten arteigenen Entwicklung, sondern stets zufallsverteilt (Dart 1949).

Dagegen gibt es Hinweise, die eine frühe, anatomische und funktionelle Hemisphärenasymmetrie beim Menschen belegen: Dart (1949) schließt aus Werkzeugfunden schon bei Australopithecinen auf eine überwiegende Rechtshändigkeit.

Cunningham (1892) beschreibt Schädelknochen von Neandertalern, deren Impressionen auf eine verlängerte Fissura Sylvii und damit ein größeres Planum Temporale auf der linken Seite hinweisen.

Vermutlich begann eine ehemals parallel und analog verlaufende Informationsverarbeitung in den Hemisphären (wobei jede Hemisphäre sensorisch und motorisch der gegenüberliegenden Körperhälfte gleichwertig zugeordnet ist) immer stärker zu dissoziieren: Ein Kanal entwickelte die bisherige ganzheitliche Auffassungsgabe, die Orientierungsfähigkeit in geologischer und sozialer Umwelt und die "gefühlsmäßige" Entscheidungsfindung umso stärker fort, je mehr er auf die Fähigkeit zu analytischer Informationsverarbeitung und logischer Denkweise verzichtete, die ja einen ganz anderen "Mechanismus" erfordern.

Umgekehrt konnte sich die andere Hemisphäre ganz auf den Ausbau dieser Kapazität konzentrieren und ein umfangreiches Kommunikationssystem verschlüsseln und speichern.

Hand in Hand damit entwickelte sich die Motorik, die der rechten Hand eine größere synthetisch-bearbeitende Geschicklichkeit verlieh, während die linke, den Fähigkeiten ihrer Hemisphäre entsprechend, den Objekten, die die rechte zu bearbeiten hat, die nötige Lagebeziehung gibt und bei manchen räumlich-konstruktiven Aufgaben selbst führt (Bildhauer).

(Bei Linkshändern ist meist nicht einfach eine geringere Differenzierung anzunehmen, sondern eine weniger strenge Bindung der beiden funktionellen Kanäle an die anatomische Struktur der Hemisphären.)

Die Vorteile dieser Bearbeitungsweise liegen auf der Hand, ebenso wie diejenigen eines Bewußtseins, dessen Inhalt auf der Betrachtung aus zwei verschiedenen Blickwinkeln beruht.

Andererseits sind auch die Nachteile offensichtlich: Mit zunehmender Dissoziation der Arbeitsweise dieser Systeme wächst die Schwierigkeit, ihre Sphären zu integrieren: Die Schizophrenie ist deshalb wohl menschheitsspezifisch; und jeder kennt den Konflikt zwischen seiner emotionalen und seiner Vernunft-Persönlichkeit sowie das psychologische Gesetz, daß Intellekt und Gefühl immer im umgekehrten Verhältnis zueinander stehen. (Ein ägyptischer Gelehrter im Koran, Reclam 1960)

C) Hemisphärendominanz bezüglich akustischer Wahrnehmung

Nicht ganz so klar seitenverteilt wie beim Auge ist die Projektion des Gehörs auf die Hirnrinde. Während jede Hemisphärektomie zwangsläufig zu einer Hemianopsie führt (Obrador 1964), wird das Gehör, vor allem die Hörschwellen, durch diesen Eingriff nur wenig beeinträchtigt. (Goldstein et al. 1961)

Ein schlechteres Sprachverständnis des zur entfernten Hemisphäre kontralateralen Ohres wird oft erst deutlich, wenn die Sprache gegen starke Hintergrundgeräusche erkannt werden soll. (Goldstein et al. 1956)

Dies hängt damit zusammen, daß die Hörbahn, die über Nucleus cochlearis, Oliva superior, Nucleus lemniscus lat., hintere Vierhügel, Corpus geniculatum med. in das primäre Hörzentrum, die Heschl'sche Querwindung, einstrahlt, fast in jedem dieser Kerne auch Fasern zur Gegenseite abgibt. (Keidel 1975)

Daß die kontralaterale Projektion der Hörbahn dennoch ergiebiger ist als die ipsilaterale, beschreibt Waldeyer (1972): "Bei Ausfall der agranulären Rinde in der Heschl'schen Querwindung folgt Rinden"taubheit", auf dem Ohr der anderen Seite und Schwerhörigkeit auf der gleichen Seite."

Rosenzweig (1951) fand gleichfalls, bei akustischer Reizung der Ohren und elektrischer Ableitung der Antwort auf der Hörrinde, bei Katzen, ein engeres Verhältnis jeden Ohres zum kontralateralen Kortex.

Diese Untersuchungen bestätigen die Meinung Kimuras (1967), daß auch das Gehör vorwiegend über gekreuzte Bahnen in der kontralateralen Hemisphäre repräsentiert ist.

Die ganz überwiegende Lokalisation des Sprachverständnisses in der linken Hemisphäre ergibt sich schon aus der Hirnverletzten-Forschung und zeigt sich z.B. bei einem dichotischen Sprachverständnistest mit kommisurotomierten Patienten, der für das linke Ohr nur eine ganz geringe Leistung ergab. (Gazzaniga 1970)

Um diese Seitenverteilung jedoch bei gesunden Versuchspersonen deutlich erkennbar zu machen, muß die ipsilaterale Projektion der Botschaft auf die Hirnrinde unterdrückt werden. (Kimura 1961) Dies gelingt durch gleichzeitige Darbietung verschiedener Worte auf beide Ohren. (Cherry 1953, Broadbent 1958) Damit unter diesen erschwerten Bedingungen ein brauchbarer Bewußtseinsinhalt entstehen kann, unterdrückt ein „Filtermechanismus" die unvollständigere oder unwesentlicher erscheinende Nachricht. Für abstrakte, keine gefühlsmäßige Bevorzugung auslösende Worte, bedeutet dies, daß von zwei Informationen diejenige ins Bewußtsein geschleust wird, die schneller oder besser aufbereitet ist. Arbeitet eine Hemisphäre bezüglich des gebotenen Informationspaares besser, so wird bevorzugt der ihr gebotene Anteil wahrgenommen. (Nur bei einfachen Aufgaben kann auch noch die andere Information bewußt werden.)

Die auf dieser Erkenntnis basierende Technik des dichotischen Hörtests führte in vielen Untersuchungen zu dem erwarteten Ergebnis. (Bessere Verarbeitung der verbalen Stimuli durch die linke Hemisphäre: z.B. Broadbent 1954, Bryden 1963, Satz et al. 1965, Kimura 1964, Schwarz 1971)

Kimura (1963) fand diese funktionelle Asymmetrie in der Verarbeitung der Hörinformation schon bei 4-jährigen Kindern und Sinclair (1968) bei 3-jährigen.

Weitere Bestätigungen erbrachten abgeänderte Versuchsbedingungen: Mainka et al. (1971) wiesen die Versuchspersonen an, sich jeweils auf das rechte bzw. linke Ohr zu konzentrieren. Merz (1975) benutzte Wortpaare aus hochdeutschen und verstammelten Wörtern.

Die Leistung der Linkshänder zeigte teils leichte Überlegenheit des linken Ohres (Merz 1975), sonst jedoch ebenfalls, wenn auch in geringerem Ausmaß, eine Seitenbevorzugung zugunsten des rechten Ohres.

Den Beobachtungen an Hirnverletzten, die auch Shankweiler (1966) und Milner et al. (1971) beschrieben, wonach bei Verletzungen der linken Hemisphäre besonders die verbale Hörleistung litt, während bei rechtstemporalen Läsionen vorallem das Erkennen von Tonmustern und Melodien gestört war, folgten dichotische Untersuchungen bezüglich der Musikalität an Gesunden.

Hierbei traten jedoch widersprüchliche Ergebnisse auf: Kimura (1964), Milner (1962) veröffentlichten eine Dominanz des linken Ohres; Gordon (1970) beschreibt keine eindeutige Seitenbevorzugung; Schmelz, E. (1976), Schmelz, M. (1976) stellen eine signifikante Rechtsohr-Prävalenz fest.

Geht man allerdings von dem im vorigen Kapitel entwickelten Bild der Hemisphärenfunktion aus, wonach die Arbeitsweise der linken analytisch, die der rechten mehr ganzheitlich ist, und betrachtet die Vielfalt der musikalischen Erscheinungen, die in wechselnden Anteilen einerseits analytisch zu entschlüsselnde Sequenzen und Instrumentencharakteristika enthalten, andererseits nur ganzheitlich dem Empfinden zugängliche Klangbilder und Melodien, so verwundern diese gegensätzlichen Ergebnisse nicht.

Um die Integration des Gehörs in die bisher bekannte Hemisphärenspezialisierung zeigen zu können, wären wahrscheinlich andersgeartete Versuche erfolgversprechender: z.B. die Aufgabe, Stellungen einer Schallquelle im Raum zu orten; (wie sie von Blauert (1974) ausführlich durchgeführt wurden, allerdings ohne die Fragestellung einer Lateralität.) oder verschiedene emotionale Stimmungen des Sprechers in dichotisch dargebotenen Redestücken zu erkennen.

## II Untersuchung mit einem dichotischen Hörtest bei 5- und 7-jährigen Kindern

### 1) Untersuchungsziele:

a) In dem Test wurden Kinder aus dem Vorschulalter (5-jährige), 7-jährigen gegenübergestellt, die im Durchschnitt etwa 1 Jahr Schulbesuch hinter sich hatten.

Wie in Kapitel I,B,3,b gezeigt wurde, übernimmt beim Erlernen des Lesens und Schreibens hauptsächlich die linke Hemisphäre die Speicherung der optischen Codes für die Sprache. Dies ergibt eine weitere Konzentration von sensorischen und motorischen Sprachfunktionen in der linken Hemisphäre, deren eventueller Einfluß auf die rechts-links-Differenzierung geklärt werden sollte.

b) Die bisherigen Ergebnisse der Untersuchungen, die die akustische Wahrnehmung betreffen, kamen meist durch sprachliche Widergabe zustande. Da das motorische Sprachzentrum aber zu fast 100 % in der linken Hemisphäre liegt (s.Kap. I,B,1) ist ein Einfluß zugunsten des rechten Ohres durch diese enge anatomische und funktionelle Nachbarschaft denkbar. Um einen eventuellen Hinweis diesbezüglich zu erhalten, erfolgte die Widergabe in diesem Test zur Hälfte durch Nachsprechen und zur Hälfte durch Anzeigen der entsprechenden Bilder auf Tafeln.

Die Ergebnisse sollten außerdem für beide Widergabemöglichkeiten die Lateralität aufzeigen, um sie bei der Kinderaudiometrie berücksichtigen zu können.

c) Schließlich bestand noch die Frage, ob durch die Verstammelung der Wörter, und damit die erhöhte Anforderung bezüglich der Aufbereitung zum hochdeutsch widerzugebenden Wort, eine weitere Zunahme des rechts-links-Unterschiedes auftreten würde.

## 2) Versuchsbeschreibung:

Um Hörminderungen auszuschließen wurde bei allen Kindern vor dem eigentlichen Test ein Weber'scher Stimmgabelversuch (zum Ausschluß eines gehörbedingten rechts-links-Unterschiedes) durchgeführt und eine beidseitige Gehörprüfung bei 500 und 2 000 Hz mit 15 db (über Tonband).

Dem Test vorangestellt war eine kurze, dem Test analoge Übung mit anderen Wortpaaren auf Tonband, mit deren Hilfe überprüft werden konnte, ob die Kinder den Testablauf verstanden hatten und zur Bewältigung der gestellten Aufgabe in der Lage waren.

Das im Tonstudio der HNO-Klinik Tübingen durch Herrn Sesterhen angefertigte Testtonband enthielt synchrone, gleichlange Wortpaare, (Lautstärke ca. 55 db) von denen jeweils ein Wort verstümmelt, eines unverstümmelt war. Die das Paar bildenden Wörter lagen dabei auf getrennten Tonspuren eines Stereotonbandes und wurden über einen entsprechenden Kopfhörer dem rechten und linken Ohr getrennt dargeboten.

Der Grad der Verstümmelung wurde von Prof. Breuninger den Erfahrungen aus vorangegangenen wissenschaftlichen Arbeiten entsprechend festgelegt.

Zwischen den Wortpaaren lag eine Pause von drei Sekunden Dauer, die gerade für eine spontane Widergabe bzw. Anzeige auf Bildtafeln ausreichte, nicht jedoch zum Nachdenken über das Gehörte.

Die Worte entstammten einem, schon 4-jährigen Kindern bekannten Begriffsbereich, und haben sich, ebenso wie die dazugehörigen Bildtafeln, bei audiometrischen Untersuchungen der Kinderabteilung der HNO-Klinik Tübingen bewährt (z.B. Tannenbaum, Schneemann, Lastwagen, Eisenbahn usw.).

Die Seitigkeit der verstümmelten Worte war einer Zufallsreihenfolge unterworfen, ihre Anzahl rechts und links jedoch gleich.

Auf diese Weise wurden zwei Gruppen zu je acht Wortpaaren gebildet, in denen die Anzahl der verstümmelten und unverstümmelten gleich groß war, wovon die eine Gruppe ausschließlich durch Anzeigen auf obengenanten Bildtafeln (je 8 Bilder), die andere nur durch Nachsprechen (ohne Sicht der Bildtafeln) widerzugeben war. Beim Nachsprechen war die Korrektur der Verstümmelung, also Widergabe eines hochdeutschen Wortes verlangt.

Vom Untersucher wurden Vollständigkeit der Widergabe und die Reihenfolge notiert.

Um verfälschende Einflüsse auszuschließen, die durch emotionale Bevorzugung bestimmter Begriffe dankbar waren (z.B. war "Schneemann" deutlich beliebter als "Postkasten") oder durch Lerneffekte aus der 1.Wortgruppe, wurden die Versuchspersonen in acht Gruppen eingeteilt, die sich unterschieden bezüglich

Beginn des Testes mit Wortgruppe 1 oder 2

Beginn des Testes mit Nachsprechen oder Anzeigen

umgekehrte Stellung des Kopfhörers bezüglich des rechten und linken Ohres. ($2^3 = 8$)

Untersucht wurden jeweils 32 5-jährige (Kindergarten) und 7-jährige (Grundschule) rechtshändige Kinder und je 8 5- und 7-jährige Linkshänder.

## 5-jährige Rechtshänder

| Nr. | | 1 | 9 | 17 | 25 | 2 | 10 | 18 | 26 | 3 | 11 | 19 | 27 | 4 | 12 | 20 | 28 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Test-Gruppe | | I | I | I | I | II | II | II | II | III | III | III | III | IV | IV | IV | IV |
| Geschlecht | | ♂ | ♀ | ♀ | ♂ | ♂ | ♂ | ♀ | ♂ | ♀ | ♀ | ♀ | ♀ | ♀ | ♂ | ♂ | ♀ |
| Anzeigen von Unverstümmelten | re. | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 1 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | li. | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| Anzeigen von Verstümmelten | re. | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 |
| | li. | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| Reihenfolge | re.-li. | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | li.-re. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| Nachsprechen von unverstümmelten | re. | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| | li. | 2 | 1 | 4 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Nachsprechen von verstümmelten | re. | 1 | 3 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | li. | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Reihenfolge | re.-li. | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | li.-re. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Fehler gesamt | | 16 | 14 | 16 | 16 | 14 | 17 | 15 | 16 | 17 | 15 | 17 | 17 | 15 | 18 | 18 | 8 |

| Nr. | | 5 | 13 | 21 | 29 | 6 | 14 | 22 | 30 | 7 | 15 | 23 | 31 | 8 | 16 | 24 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Test-Gruppe | | V | V | V | V | VI | VI | VI | VI | VII | VII | VII | VII | VII | VII | VII | VIII |
| Geschlecht | | ♂ | ♀ | ♂ | ♀ | ♂ | ♀ | ♀ | ♂ | ♂ | ♂ | ♀ | ♀ | ♂ | ♂ | ♀ | ♂ |
| Anzeigen von Unverstümmelten | re. | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 3 |
| | li. | 0 | 1 | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Anzeigen von Verstümmelten | re. | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| | li. | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| Reihenfolge | re.-li. | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | li.-re. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nachsprechen von unverstümmelten | re. | 3 | 3 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 1 |
| | li. | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 3 | 1 | 4 | 4 | 3 |
| Nachsprechen von verstümmelten | re. | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | li. | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Reihenfolge | re.-li. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | li.-re. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fehler gesamt | | 16 | 19 | 18 | 18 | 15 | 13 | 16 | 16 | 20 | 17 | 16 | 11 | 15 | 14 | 16 | 17 |

7-jährige Rechtshänder

| Nr. | 1 | 9 | 17 | 25 | 2 | 10 | 18 | 26 | 3 | 11 | 19 | 27 | 4 | 12 | 20 | 28 | 5 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Test-Gruppe | I | I | I | I | II | II | II | II | III | III | III | III | IV | IV | IV | IV | V | V |
| Geschlecht | ♀ | ♂ | ♂ | ♂ | ♂ | ♂ | ♂ | ♂ | ♀ | ♀ | ♂ | ♀ | ♂ | ♀ | ♀ | ♀ | ♀ | ♂ |
| Anzeigen von re. | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 |
| Unverstümmelten li. | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| Anzeigen von re. | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| Verstümmelten li. | 4 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| Reihen. re.-li. | 1 | 0 | 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| folge li.-re. | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Nachsprechen von re. | 2 | 4 | 4 | 4 | 1 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| unverstümmelten li. | 1 | 0 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Nachsprechen von re. | 2 | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 |
| verstümmelten li. | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Reihen- re.-li. | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| folge li.-re. | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fehler gesamt | 11 | 17 | 10 | 16 | 19 | 12 | 17 | 16 | 16 | 17 | 17 | 17 | 15 | 14 | 15 | 15 | 16 | 12 |

7-jährige Rechtshänder - Fortsetzung

| Nr. | | 21 | 29 | 6 | 14 | 22 | 30 | 7 | 15 | 23 | 31 | 8 | 16 | 24 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Test-Gruppe | | V | V | VI | VI | VI | VI | VII | VII | VII | VII | VIII | VIII | VII | VIII |
| Geschlecht | | ♂ | ♂ | ♂ | ♀ | ♂ | ♂ | ♂ | ♂ | ♀ | ♂ | ♀ | ♀ | ♀ | ♀ |
| Anzeigen von Unverstümmelten | re. | 4 | 4 | 3 | 3 | 1 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| | li. | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 1 |
| Anzeigen von Verstümmelten | re. | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| | li. | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 4 | 0 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 3 | 1 |
| Reihenfolge | re.-li. | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 5 | 3 | 1 | 4 | 0 |
| | li.-re. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 4 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Nachsprechen von unverstümmelten | re. | 4 | 3 | 4 | 4 | 1 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| | li. | 1 | 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 0 | 2 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| Nachsprechen von verstümmelten | re. | 3 | 2 | 3 | 1 | 0 | 4 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | li. | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 1 |
| Reihenfolge | re.-li. | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| | li.-re. | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Fehler gesamt | | 16 | 10 | 13 | 16 | 18 | 2 | 17 | 12 | 10 | 8 | 11 | 15 | 7 | 20 |

| | 5-jährige Linkshänder und Ambidextrale | | | | | | | | 7-jährige Linkshänder und Ambidextrale | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Test-Gruppe | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Geschlecht | ♀ | ♂ | ♂ | ♂ | ♀ | ♂ | ♂ | ♂ | ♀ | ♂ | ♂ | ♀ | ♀ | ♀ | ♂ | ♀ |
| Händigkeit | li. | li. | li. | i | i | li. | li. | i. | li. | li. | li. | li. | li. | li. | li. | li. |
| Anzeigen von Unverstümmelten re. | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| Anzeigen von Unverstümmelten li. | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0 |
| Anzeigen von Verstümmelten re. | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 3 | 3 |
| Anzeigen von Verstümmelten li. | 0 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| Reihenfolge re.-li. | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| Reihenfolge li.-re. | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Nachsprechen von Unverstümmelten re. | 2 | 0 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 0 | 3 | 4 | 4 |
| Nachsprechen von Unverstümmelten li. | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 4 | 0 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 |
| Nachsprechen von Verstümmelten re. | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| Nachsprechen von Verstümmelten li. | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Reihenfolge re.-li. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Reihenfolge li.-re. | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Fehler gesamt | 16 | 15 | 16 | 14 | 17 | 19 | 18 | 16 | 16 | 15 | 16 | 14 | 19 | 13 | 14 | 17 |

## 4) Statistische Auswertung der Test-Ergebnisse

a) Vorgehen:

Da häufig keine Gauß'sche Normalverteilung der Ergebnisse vorlag, wurden abhängige Stichproben nach dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen verglichen, unabhängige Stichproben nach dem U-Test von Wilcoxon, Mann und Whitney.

Die Fragestellung erfolgte grundsätzlich zweiseitig. War die Irrtumswahrscheinlichkeit unter 10 % ($p < 0,1$), wurde der Unterschied auffällig genannt,

bei Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5 % ($p < 0,05$) signifikant,

bei Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1 % ( $p < 0,01$) hochsignifikant.

b) Ergebnisse:

(In eckigen Klammern stehen die Ergebnisse der Linkshänder)

1) Widergabe hochdeutscher Worte durch Anzeigen auf Bildtafeln.

Im Durchschnitt wurden von den rechts gehörten Worten 1,125 [0,813] mehr angezeigt, als von den links gehörten: (s=1,548 [s=1,797])

Dieser Unterschied ist hochsignifikant ($p < 0,00001$ [auffallend $p < 0,1$])

2) Widergabe verstümmelter Worte durch Anzeigen auf Bildtafeln.

Von den rechts gehörten wurden im Mittel 0,953 [0,250] mehr angezeigt, als von den links gehörten. (s=1,302 [s= 1,653])

Dieser Unterschied ist hochsignifikant ($p < 0,00001$) [kein auffallender Unterschied]

3) Reihenfolge bei Widergabe durch Anzeigen.

Die Kinder zeigten auf den Tafeln in der Reihenfolge re.→li. 0,25 [0,188] Wortpaare mehr an, als in der Reihenfolge li.→re. (s= 1,168 [s= 0,981])
Der Unterschied ist auffällig ($p < 0,1$) [kein auffallender Unterschied]

4) Widergabe hochdeutscher Worte durch Nachsprechen (korrekt).
Von den rechts gehörten wurden 1,219 [0,750] mehr widergegeben, als von den links gehörten. (s= 1,685 [s= 2.436]).
Dieser Unterschied ist hochsignifikant ($p < 0,00001$)
[kein auffallenderUnterschied]

5) Widergabe verstümmelter Worte durch Nachsprechen.
Von den rechts gehörten wurden 0,578 [0,188] mehr korrekt nachgesprochen, als von den links gehörten. (s= 1,295 [s= 1,328])
Dieser Unterschied ist hochsignifikant ($p < 0,01$) [kein auffallender Unterschied.]

6) Reihenfolge der Widergabe durch Nachsprechen.
Beim Nachsprechen wurden in der Reihenfolge re.→li. nur 0,141 [0,063] Wortpaare mehr widergegeben, als in der Reihenfolge li.→re. (s= 0,732 [s= 0,680])
Kein auffallender Unterschied [kein auffallender Unterschied]

7) Vergleich des re.-li.Leistungsunterschiedes bei Widergabe der hochdeutschen und der verstümmelten Worte.
Die re.-li.Leistungs-Differenz bei den hochdeutsch gehörten Worten betrug 24,9 % (bezogen auf die Gesamtleistung re. und li.), was eine signifikant ($p < 0,05$) kleinere Differenz ist, als bei den verstümmelt gehörten Worten. Bei ihnen betrug die re.-li. Differenz 34,0 %.

8) Vergleich der re.-li.Leistungsdifferenz mit dem Unterschied in der Reihenfolge der Widergabe.

Die re.-li.Leistungsdifferenz betrug insgesamt 26,8 %, der Unterschied in der Reihenfolge der Widergabe ((re.→ li.) - (li.→re.)) 14,8 %.
Die Rechts-Bevorzugung bei der Reihenfolge ist zwar geringer, aber ohne statistische Signifikanz.

9) Vergleich des re.-li.Leistungsunterschiedes zwischen Rechts- und Linkshändern. (Beide Altersgruppen)
Die Rechtshänder zeigten eine re.-li.Leistungsdifferenz von 26,8 % (bezogen auf Gesamtleistung = 100 %) und die Linkshänder eine re.-li.Differenz von 14,25 %.
Dieser Unterschied zwischen Rechts- und Linkshändern ist statistisch jedoch nicht auffällig.

10) Leistungsvergleich zwischen Anzeigen und Nachsprechen.
a) 5-jährige erreichten eine um 1,75 Worte bessere Widergabe durch Anzeigen im Vergleich zum Nachsprechen.
Dieser Unterschied ist hochsignifikant ($p < 0{,}00001$).
b) Bei 7-jährigen war die Widergabe durch Anzeigen um 1,688 Worte besser.
Ebenfalls hochsignifikant ($p < 0{,}00001$).

11) Vergleich der unterschiedlichen Leistung beim Anzeigen und Nachsprechen, zwischen den hochdeutschen und den verstümmelten Worten.
Bei den hochdeutsch gehörten Worten war die Widergabe beim Anzeigen auf Tafeln um 7,3 % höher als beim Nachsprechen. Bei den verstümmelt gehörten betrug dieser Unterschied 16,6 %. (zugunsten der durch Anzeigen Widergegebenen.)
Dieser Unterschied zwischen den hochdeutschen und den verstümmelten Worten ist statistisch signifikant ($p < 0{,}05$)

12) Vergleich des re.-li.Leistungsunterschiedes zwischen Anzeigen und Nachsprechen.
Die re.-li.-Differenz der durch Anzeigen widergegebenen Worte war 26,5 %, die re.-li. Differenz der durch Nachsprechen widergegebenen 27,6 % (bezogen auf die Gesamt-

leistung = 100 %)
Kein auffallender Unterschied.

13) Vergleich der Gesamtfehlerzahl zwischen 5- und 7-jährigen:
Durchschnittliche Fehlerzahl der 5-jährigen 15,81
(s= 2,278)
Durchschnittliche Fehlerzahl der 7-jährigen 13,97
(s= 3,881)
Zwischen 5-jährigen und 7-jährigen besteht ein auffallender Unterschied bezüglich der Fehlerzahl ($p < 0,1$)

14) Vergleich des re.-li.Leistungsunterschiedes zwischen 5- und 7-jährigen.
Die re.-li.Leistungsdifferenz bei 5-jährigen betrug 36,2 %, bei 7-jährigen 17,5 %.
Dies ist jedoch kein auffallender Unterschied zwischen 5-jährigen und 7-jährigen.

15) Vergleich des re.-li.Leistungsunterschiedes zwischen Jungen und Mädchen.
   a) Die re.-li.Leistungsdifferenz bei 5-jährigen Jungen betrug 39,8 %, bei den 5-jährigen Mädchen 32,6 %.
   Der Unterschied zwischen 5-jährigen Jungen und Mädchen ist nicht auffallend.
   b) Die re.-li.Differenz bei 7-jährigen Jungen betrug 18,9 %, bei 7-jährigen Mädchen 15,7 %.
   Der Unterschied zwischen 7-jährigen Jungen und 7-jährigen Mädchen ist nicht auffallend.

16) Vergleich der Gesamtfehlerzahl zwischen Jungen und Mädchen.
   a) Fehler 5-jähriger Jungen: 16,44 (s= 1,590)
   Fehler 5-jähriger Mädchen: 15,19 (s= 2,712)
   Kein auffallender Unterschied.
   b) Fehler 7-jähriger Jungen: 13,72 (s= 4,295)
   Fehler 7-jähriger Mädchen: 14,29 (s= 2,407)
   Kein auffallender Unterschied.

17) Vergleich der Gesamtfehlerzahl zwischen Rechts- und Linkshändern.
Fehler Rechtshänder: 14,89 (s= 3,291)
Fehler Linkshänder: 15,94 (s= 1,769)
Kein auffallender Unterschied.

5) Beurteilung der Ergebnisse

Nr. 1-4 bestätigen die schon bekannten Leistungsunterschiede für verbale Aufgaben zugunsten des rechten Ohres.

Der Schwierigkeitsgrad des Testes, der im Durchschnitt nur die Widergabe eines der beiden gebotenen Wörter erlaubte, ließ den "Broadbent-Effekt" voll zur Geltung kommen.

Daß sich die höhere Anforderung an das Sprachverständnis durch die Verstammelung in einer weiteren Verlagerung zugunsten der linken Hemisphäre niederschlägt, zeigt der im Vergleich zu den hochdeutsch gebotenen Wörtern signifikant größere rechts-links-Leistungsunterschied bei den verstammelten. (Nr.7)
Diese Versuchsbedingungen führten zu einer hochsignifikanten Mehrleistung des rechten Ohres. (Nr.1-3: Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 1/1000 = Prozent ($p < 0{,}00001$), Nr.4: $p < 0{,}01$)

Wesentlich geringer war der Unterschied in der Reihenfolge der Widergabe. (Nr.5,6) Bei den durch Nachsprechen Widergegebenen erreichte er nicht einmal statistische Auffälligkeit.

Vermutlich stellt die Reihenfolge keinen so zuverlässigen Parameter für die Funktionsasymmetrie dar, wie der Erfolg oder Nichterfolg einer Widergabe. (Nr. 8: re.-li. Differenz der Reihenfolge: 14,8 %, re.-li.Differenz der Widergabe: 26,8 %)

Wie in den meisten vorausgegangenen Untersuchungen ergab sich auch für Linkshänder eine höhere verbale Auffassungsfähigkeit des rechten Ohres, (Nr. 1-4) die statistisch aber nur in Nr. 1 auffällig ist.

Andererseits unterschied sich ihre im Vergleich zu den Rechtshändern nur etwa halb so große Leistungslateralität nicht statistisch auffallend von derjenigen der Rechtshänder. (Nr.9)

Eine höhere Gesamtleistung beim Zeigen des Gehörten auf Bildtafeln war wegen der zusätzlichen Bildinformation erwartet worden. (Nr.10: $p < 0{,}00001$, hochsignifikant) Daß diese zusätzliche Bildinformation für das Verstehen der verstammelten Wörter wesentlich entscheidender war, zeigt der Leistungssprung beim Wechsel vom Nachsprechen zum Anzeigen, der bei den verstammelten signifikant größer war, als bei den hochdeutschen Wörtern. (Nr.11)

Nach Kap. I,B,3,b darf angenommen werden, daß Bildmaterial bevorzugt durch die rechte Hemisphäre verarbeitet wird. Man könnte annehmen, daß dies die Zuordnung Wort-Bild für Wörter begünstigt, die der rechten Hemisphäre geboten werden.

Andererseits liegt nahe, daß bei sprachlicher Widergabe, diejenigen Wörter begünstigt werden, die der linken Hemisphäre mit dem motorischen Sprachzentrum zufließen.

Beides ist nicht der Fall. Die rechts-links-Differenz beim Nachsprechen war fast genau identisch mit derjenigen beim Anzeigen. (Nr. 12: 27,6 % und 26,5 %)

Dieses Ergebnis darf wohl so interpretiert werden, daß erstens der rechts-links-Leistungsunterschied tatsächlich im sensorischen Sprachverständnis liegt (da unabhängig von Motorik und Bildern der Augen) und zweitens als Hinweis darauf gewertet werden, daß "Wahrnehmung" nicht einseitig in einer Hemisphäre erfolgt, sondern ein "symmetrisches" seitenunabhängiges Geschehen ist.

Zwar sind die 7-jährigen den 5-jährigen in der Gesamtleistung überlegen (Nr.13), doch beruht das offensichtlich nicht auf einer überwiegend einseitigen Verbesserung der sprachlichen Fähigkeiten der linken Hemisphäre durch das Erlernen des Lesens und Schreibens. (Statistisch unterschieden sich die 7-jährigen im Ausmaß der Seitenbevorzugung nicht von den 5-jährigen. (Nr.14)

Vergleiche der Lateralität zwischen Jungen und Mädchen (Nr. 15) und Vergleiche der Gesamtleistung zwischen 5- und 7-jährigen Jungen und Mädchen,(Nr.16) sowie Links- und Rechtshändern (Nr.17) ergaben keine statistische Auffälligkeit.

## III Zusammenfassung

Der geschichtliche Überblick über Lokalisationstheorien der geistigen Fähigkeiten führt zu dem Ergebnis, (Luria 1966) daß der Arbeitsweise des Gehirns verschiedene Funktionskreise zugrunde liegen, die untereinander in Verbindung stehen. Die Hauptglieder dieser Funktionskreise sind in bestimmten Hirnteilen lokalisiert. Es dürfte keine Glieder geben, die nicht auch in andere Kreise eingeschlossen sind.

Die Entstehung einer funktionellen Asymmetrie der Hirnhälften scheint in der Natur ein zur Entwicklung spezieller Fähigkeiten ablaufender Prozeß zu sein. (z.B. Gesang einiger Vögel)

Im Gegensatz zu den Mammalia (einschließlich der Affen) gibt es schon bei frühen Vorläufern des Homosapiens Hinweise auf diese Entwicklung.

Untersuchungen über die Verarbeitung von optischen und akustischen Informationen, taktilen Leistungen, motorischen Fähigkeiten, einschließlich der Sprachfunktion, sowie die Art der Störungen, die auf Hirnverletzungen folgten, ließen folgendes Bild von der Hemisphärenspezialisierung erkennen:

Die rechte Hemisphäre hat eine ganzheitliche Auffassungsweise auf ein hohes Niveau fortentwickelt. Damit führt sie beim Erkennen von Formen und Bildern, sowie räumlich-visuellen Aufgaben. Sie ist vermutlich hauptverantwortlich für unsere Orientierung in der geologischen und sozialen Umwelt.

Diese Arbeitsweise bedeutet zwangsläufig einen Verzicht auf analytische Informationsverarbeitung. Auf diese wiederum hat sich die linke Hirnhemisphäre spezialisiert. Sie dürfte wesentlich zu unserer intellektuellen Persönlichkeit beitragen. Dementsprechend hat sie fast ausschließlich die Codes für ein umfangreiches Kommunikationssystem gespeichert.

Die, die Sprachfunktionen repräsentierenden Areale der Hirnrinde zeigen auch die einzigen wesentlichen anatomischen Asymmetrien der Hemisphären.

Analog den Fähigkeiten der linken Hirnhälfte hat die von ihr innervierte rechte Hand eine größere, bearbeitende und feinmotorische Geschicklichkeit, während die linke die Lagebeziehung der Objekte zur Bearbeitung durch die rechte Hand herstellt.

Die den Hemisphären zufließenden Informationen werden weitgehend unabhängig voneinander nach obigen Gesichtspunkten aufbereitet und erst danach zu einer Wahrnehmung verschmolzen.

Der offensichtliche Vorteil eines Bewußtseins, dessen Erkenntnisse auf verschiedenen Blickwinkeln beruht, liegt auf der Hand.

Die vorliegende Arbeit ist eine Untersuchung mit 5- und 7-jährigen Kindern, die einige Aspekte der akustischen Prävalenz bezüglich sprachlichen Materials aufzeigen soll.

Die diesbezügliche Dominanz des rechten Ohres konnte durch den Schwierigkeitsgrad, u.a. Verstammelung der dargebotenen Wörter, hochsignifikant nachgewiesen werden.

Bei den verstammelten Wörtern bestand eine größere Seitendifferenz der Wahrnehmung als bei den hochdeutschen.

Bei Linkshändern war der rechts-links-Leistungsunterschied zugunsten des rechten Ohres geringer ausgeprägt.

Die Art der Widergabe des Gehörten: Nachsprechen-Zeigen auf Bildtafeln, änderte den Betrag der funktionellen Lateralität nicht.

Das Erlernen des Lesens und Schreibens blieb ebenfalls ohne Einfluß auf die Seitenunterschiede des verbalen Verständnisses.

## IV Literaturverzeichnis

Annet, M.: "A model of the inheritance of handedness and cerebral dominance."
Nature (London) 204, 59 - 60 (1964)

Barton, M.J., Goodglass, H. and Shai,A.: "Differential recognition of tachistoscopically presented English and Hebrew words in right and left visual fields."
Percept. Motor Skills, 21, 431 - 437 (1965)

Beaumont, J.G. and Dimond, S.J.: "Brain disconnection and shizophrenia." in
Dimond, S.J., and Beaumont, J.G. "Hemisphere Function in the Human Brain"
London: Elekscience 1974

Benton, A.L. and Hecaen, H.: "Stereoskopic vision in patients with unilateral cerebral disease."
Neurology 20, 1084 - 1088 (1970)

Blauert, J.: "Räumliches Hören."
Stuttgart: S.Hirzel 1974

Böhm, E., Sänger, O., Feldhus, K., Hess, K. (Hrg.):
"Grund- und Kampfschule für Amateur- und Schulboxen."
Frankfurt/M.: Wilhelm Limpert 1959

Bogen, J.E. and Vogel, P.J.: "Cerebral commisurotomy in man: Preliminary case report."
Bull. Los Angeles Neurol. soc. 27, 169 1962

Bonin, von, G.: "Anatomical asymmetries of the cerebral hemispheres." In Mountcastle, V.B. (ed.) "Interhemispheric Relations and Cerebral Dominance."
Baltimore: John Hopkins 1962

Branch, C., Milner, B. and Reasmussen, T.: "Intracarotid sodium amytal for the lateralization of cerebral speech dominance. Observations in 123 patients." J- Neurosurg. 21 399 - 405 1964

Broadbent, D.E.: "The role of auditory localization in attention and memory span." J.Exp. Psychol. 47, 191 - 196 (1954)

Broadbent, D.E.: "Perception and communication." Pergamon Press 1958

Broca, P.: "Localisation des fonctions cérébrales, siège du Language articulé. Paris: Bull. Soc. Anthropol. vol. 4, S. 200 - 202 (1863)

Broca, P.: "Du siège de la faculté du Language articulé." Bull. Soc. Anthrop. vol. 6, 377 - 393 (1865)

Bryden, M.P.: "Ear preference in auditory perception." J.Exp. Psychol. 65, 103 - 105 (1963)

Burt: "The backward child." New York, Macmillan 1937

Campbell, W.: "Histological studies on the localisation of cerebral function." Cambridge University Press 1905

Carmon, A. and Bechthold, H.P.: "Dominance of the right cerebral hemisphere for stereopsis." Neuropsychologia 7, 29 - 39 (1969)

Cherry, C.: "Some experiments on the recognition of speech with one and two ears."
J.A. const. Soc. Amer. 25, 975 - 979 (1953)

Clarke, E., Dewhurst K.: "Die Funktion des Gehirns, Lokalisationstheorien von der Antike bis zur Gegenwart."
München: Heinz Moos 1973

Cohen, G.: "Hemispheric differences in a letter classification task."
Perception and Psychophysics 11 139 - 142 (1972)

Cunningham, D.J.: "Contribution to the Surface Anatomy of the Cerebral Hemispheres."
Dublin: Cunningham Memoires No. VII; Royal Irish Academy (1892)

Dart, R.A.: "The predatory implemental technique of Australopithecus."
Amer. J. Phys. Anthropol. 7, 1 - 38 (1949)

Déjérine, J.: "Sur un cas de cécité verbale avec agraphie, suivie d'autopsie."
Mem. Soc. Biol. 3, 197 - 201 (1891)

Dimond, S.J.: "The Double Brain."
Edinburgh and London: Churchill Livingstone 1972

Dimond. S.J. and Beaumont, J.G.: "Experimental Studies of Hemisphere Function."
In Dimond, S.J. and Beaumont, J.G.: "Hemisphere Function in the Human brain."
S. 66 - 70 London: Elekscience 1974

Dreifuss, F.E.: "Delayed development of hemispheric dominance."
Arch. Neurol. Chicago, 8 (5), 510 - 514 (1963)

Durnford, M. and Kimura, D.: "Right hemisphere specialisation for depth perception, reflected in visual field differences."
Nature 231, 394 - 395 (1971)

Ecker, Alexander: "Die Hirnwindungen des Menschen nach eigenen Untersuchungen, insbesondere über die Entwicklung derselben beim Fötus und mit Rücksicht auf die Bedürfnisse der Ärzte."
2.Auflage Braunschweig: F.Vieweg 1883

Economo, von, C. und Horn, L.: "Über Windungsrelief, Masse und Rindenarchitektonik der Supratemporalfläche."
Z. Ges. Neurol.Psychiat. 130, 678 - 757 (1930)

Eisenson, J.: "Language and intellectual modifications associated with right cerebral damage."
Language and Speech 5 (2), 49 - 53 (1962)

Flechsig, P.: "Die Leitungsbahnen im Gehirn und Rückenmark des Menschen."
Leipzig: W. Engelmann 1876

Flechsig, P.: "Meine myelogenetische Hirnlehre. Mit biographischer Einleitung."
Berlin: J. Springer 1927

Fritsch, G. und Hitzig, E.: "Über die elektrische Erregbarkeit des Großhirns."
Arch. Anat. Physiol. 1870, 300 - 332

Gazzaniga, M.S.: "The Bisected Brain."
New York: Appleton-Century-Crofts 1970

Gazzaniga, M.S., Bogen, J.E., and Sperry, R.W.: "Laterality effects in somesthesis following cerebral commissurotomy in man."
Neuropsychologia 1, 209 - 215 (1963)

Geschwind, N.: "The Anatomical Basis of Hemispheric Differentation."
In Dimond, S.J., and Beaumont, J-G.: "Hemisphere Function in Human Brain."
London: Elekscience 1974

Geschwind, N. and Levitsky, W.: "Human Brain: left-right asymmetries in temporal speech region."
Science 161, 186 - 187 (1968)

Gloning, J., Gloning, K., Haub, G. and Quatember, R.: "Comparison of verbal behaviour in right-handed and non-right-handed patients with anatomically verified lesions of one hemisphere."
Cortex 5, 43 - 52 (1969)

Goldstein, R.: "Hearing and speech in follow-up of left hemispherectomy."
J. Speech Hear. Dis. 26, 126 - 129 (1961)

Goldstein, R., Goodman, A. and King, R.: "Hearing and speech in infantile hemiplegia before and after left hemispherectomy."
Neurology 6, 869 - 875 (1956)

Gordon, H.W.: "Hemispheric asymmetries in the perception of musical chords."
Cortex 6, 387 - 398 (1970)

Grimm, Georg: "Die Lehre des Buddha, die Religion der Vernunft und derMeditation."
Wiesbaden: R. Löwit, Ohne Jahr

Groden, G.: "Lateralpreferences in normal children."
Percept. and Mot.skills 28 (1), 213 - 214 (1969)

Hassler, R.: "Funktionelle Neuroanatomie und Psychiatrie."
in "Psychiater der Gegenwart." Bd.I/ 1 A S.203
Heidelberg: Springer 1967

Keidel, W.D. (Hrg.): "Physiologie des Gehörs, akustische Informationsverarbeitung."
Stuttgart: Georg Thieme 1975

Kertesz, A. and Geschwind, N.: "Patterns of pyramidal decussation and their relationship to handedness."
Arch. neurol. 24, 326 - 332 (1971)

Kimura, D.: "Cerebral dominance and the perception of verbal stimuli."
Canad. J. Psychol. 15, 166 - 171 (1961)

Kimura, D.: "Speech Lateralization in young children as determined by an auditory test."
J. comp. Physiol. Psychol. 56, 899 - 902 (1963)

Kimura, D.: "Left-right differences in the perception of melodies."
Quart. J. Exp. Psychol. 16, 355 - 358 (1964)

Kimura, D.: "Dual functional asymmetries of the brain in visual perception."
Neurophsychologia 4, 275 - 285 (1966)

Kimura, D.: "Functional asymmetries of the brain in dichotic listening."
Cortex 3, 163 - 178 (1967)

Kimura, D. and Durnford, M.: "Normal Studies on the Function of the right hemisphere."
In Dimond, S.J. and Beaumont, J.G.: "Hemisphere Function in Human Brain." S. 25 - 44
London: Elekscience 1974

Koran, der, Stuttgart: Reclam 1960

Lange, J.: "Agnosien und Apraxien."
In Bumke, O. und Foerster, O. (Hrg.): "Handbuch der Neurologie." Bd. VI, 807 - 960 (1936)

Levy, J.: "Psychobiological Implications of Bilateral Asymmetrie."
In Dimond, S.J. and Beaumont, J.G.: "Hemisphere Function in the Human Brain." S. 129 - 175
London: Elekscience 1974

Levy-Agresti, J. and Sperry, R.W.: "Differential perceptual capacities in major and minor hemispheres."
Proc. U.S. Nat. Acad. Sci. 61, 1151 (1968)

Luchsinger, R., Arnold, E.G.: "Handbuch der Stimm- und Sprachheilkunde."
Kapitel: "allgemeine Begriffe der Lateralität"
S. 143 ff. Bd. 2, Berlin 1970

Luria, A.R.: "Higher cortical functions in man."
S. 23 - 38
London: Tavistock Publications 1966

Luria, A.R.: "Traumatic Aphasia: Its Syndroms, Psychology and Treatement."
Paris: Mouton 1970

Mainka, G., Hörmann, H.: "Genügt der Begriff der Aufmerksamkeit des sogenannten Lateralitätseffektes? Eine experimentelle Untersuchung."
Psycholog. Forschung, Bd. 34, 295 - 311 (1971)

Merz, M.: "Hemisphärendominanz und akustische Wahrnehmung Ein dichotischer Hörversuch mit hochdeutschen und verstammelten Wörtern an 13 18-jährigen Gymnasiasten."
Med.Dissertation, Tübingen 1975

Milner, B.: "Laterality effects in audition."
In Mountcastle, V.B. (ed.) "Interhemispheric relations and cerebral dominance."
Baltimore: John Hopkins Press 1962

Milner, B. in Hecaen, H. and Sauguet, J.: "Cerebral dominance in left handed subjects."
Cortex 7, 19 - 47 (1971)

Mishkins, M. and Forgays, D.G.: "Word recognition as a function of retinal Locus."
J. Exp. Psychol. 43, 43 - 48 (1952)

Nebes, R.D.: "Superiority of the minor hemisphere in commisurotomised man for the perception of part-wholerelations."
Cortex 7, 333 - 349 (1971)

Nebes, R.D.: "Dominance of the minor hemisphere in commissurotomised man on a test of figural unification."
Brain, 95, 633 - 638 (1972)

Nottebohm, F.: "Ontogeny of bird song."
Science 167, 950 - 956 (1970)

Obrador, A.S.: In Schaltenbrand, G. and Woolsey, C.W. (eds.):
"Cerebral localization and organization."
Madison: University of Wisconsin Press 1964

Ogle, William: "On dextral pre-eminence."
London: J-E. Adlard 1871

Pfeiffer, R.A.: "Pathologie der Hörstrahlung und der
corticalen Hörsphäre."
In Bumke, O. und Foerster, O. (Hrsg.): "Handbuch
der Neurologie." Bd. IV
Berlin: Springer 1936

Révész, R.: "Geschichte des Seelenbegriffes und der
Seelenlokalisation."
Stuttgart: Enke 1917

Rosenzweig, M.R.: "Representation of the two ears at
the auditory cortex."
Am. J. Psychol. 37, 147 - 158 (1951)

Satz, P., Achenbach, K., Pattishall, E. and Fenell. E.:
"Order of report, ear asymmetrie and handedness
on dichtotic listening."
Cortex 1, 377 - 396 (1965)

Schmelz, E.: "Hemisphärendominanz bei einem dichotischen
Hörtest mit tonalen Stimuli und ihre Beziehung zur
Händigkeit."
Med.Dissertation Tübingen 1976

Schmelz, M.: "Hemisphärendominanz bei einem dichotischen
Hörtest mit Melodien."
Med.Dissertation Tübingen 1976

Schwarz, E.: "Die Abhängigkeit der akustischen Wahrnehmung von der Hemisphärendominanz."
Archiv f. Psychologie Bd. 123, 129 - 141 (1971)

Shankweiler, D.: "Effects of temporal-lobe damage on perception of dichotically presented melodies."
J. comp. Physiol. Psychol. 62 (1), 115 - 119 (1966)

Simon, J.R.: "Steadiness, handedness and hand preference."
Percept. Mot. Skills 18, 203 - 206 (1964)

Sinclair, L.: "Ear dominance in preschool children."
Percept. Mot. Skills 26, 510 (1968)

Smith, A.: "Speech and other functions after left (dominant) hemisphereectomy."
J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 29, 467 (1966)

Smith, A. and Burklund, C.W.: "Nondominant hemisphereectomy: Neuropsychological implications for human brain functions."
Proc. of the 75 th Annual Convention of the APA 2, 103 - 104 (1967)

Sperry, R.W.: "Hemisphere deconnection and unity in conscious awareness."
Amer. Psychol. 23, 723 - 733 (1968)

Teszner, D.: "Etude anatomique de l'asymetrie droite-gauche du planum temporale sur 100 cerveaux d'adultes."
Inaugural-Diss. Université de Paris 1972

Trevarthen, C.: "Analysis of Cerebral Activities."
In Dimond, S.J. and Beaumont, J.G.: "Hemisphere Function in the Human Brain."
S. 254 ff. London: Elek Science 1974

Venables, P.H.: "Sensory aspects of psychopathology."
In Zubin, J. and Shagass, C. (eds.): "Neurobiological Aspects of Psychopathology."
New York: Grune and Stratton 1969

Voelckel, E.: "Untersuchungen über die Rechtshändigkeit beim Säugling."
Z. Kinderheilkunde 8, 351 - 358 (1913)

Wada, J.: "A new method of the determination of the side of cerebral speech dominance. A preliminary report on the intracarotid injection of sodium amytalin man."
Med.Biol. 14, 221 (1949)

Waldeyer, A. und Waldeyer, K.: "Anatomie des Menschen."
Bd. II 7.Aufl. S. 353
Berlin: Walter de Gruyter: 1972

Weinstein, S. and Sersen, E.A.: "Tactual sensitivity as a function of handedness and laterality."
J. Comp. Physiol. Psychol. 54, 665 - 669 (1961)

Wernicke, C.: "Der aphasischeSymptomenkomplex. Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis."
Breslau: Cohn und Weigert 1874

Yakovlev, P.J. and Rakic, P.: "Patterns of decussation of bulbar pyramids and distribution of pyradmidal tracts on two sides of the spinal cord."
Trans.Amer. Neurol. Assoc. 91, 366 - 367 (1966)

## LEBENSLAUF

Am 14.4.1951 wurde ich als Sohn des Verwaltungsbeamten Karl Hildebrandt und seiner Ehefrau Maria Hildebrandt in Schwäbisch Hall geboren.

Dort erhielt ich meine Schulausbildung bis zu einem Umzug nach Tübingen. In Tübingen legte ich im Juni 1970 die Reifeprüfung ab und begann mit dem Medizinstudium im Sommersemester 1971. Das Staatsexamen bestand ich im Dezember 1976 und erhielt nach der Medizinalassistentenzeit im Kreiskrankenhaus Nürtingen am 31.5.1978 die Approbation als Arzt.

Während der nachfolgenden Truppenarzttätigkeit bei der Bundeswehr vervollständigte ich diese Dissertationsarbeit.